

УДК 51-76:617

doi:10.20998/2413-4295.2018.45.11

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСХОДА ОПЕРАТИВНОГО СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

**Е. В. ВЫСОЦКАЯ, Р. О. САБЛИН\*, А. Н. СТРАШНЕНКО**

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

\*e-mail: ruslan.sablin@nure.ua

**АННОТАЦИЯ** В современной стоматологической практике проблема прогнозирования исхода проведения оперативного вмешательства является крайне важным вопросом, что позволит облегчить задачу принятия решения стоматологом в каждом индивидуальном случае. Также часто обсуждаемым остается вопрос о перечне показаний и противопоказаний к проведению индивидуального протезирования. Целью исследования является разработка математической модели прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства у пациентов с использованием бинарной логистической регрессии. Для синтеза математической модели прогноза результата оперативного стоматологического вмешательства у пациентов применялась бинарная логистическая регрессия, которая позволяет достаточно точно выявить факторы, оказывающие существенное влияние на результирующий показатель, а также определить силу и направление этого влияния. Для проведения данного анализа использовали компьютерную программу для статистической обработки данных SPSS 19.0. В результате проведенных экспериментальных исследований разработана математическая модель прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства, которая позволяет предсказать результат дентальной имплантации. Оценка качества полученной модели, при помощи выбранных критериев оценки бинарной логистической регрессии, показала высокие результаты. Полученное значение площади под ROC-кривой, позволяющее оценить диагностическую ценность модели, составило 0,996, что говорит об отличном качестве модели. Представленные в работе результаты исследования говорят об эффективности применения бинарной логистической регрессии для прогнозирования дентальной имплантации. Путём обработки влияющих критериев можно спрогнозировать успех или неудачу операции. Эта возможность даст стоматологу выбрать оптимальный срок нагрузки имплантата и правильную ортопедическую конструкцию. Использование данной математической модели в медицинской практике позволит повысить качество оказания стоматологической помощи пациентам. Полученные результаты представляют важную теоретическую основу для разработки информационной системы с целью автоматизации процесса прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства.

**Ключевые слова:** математическая модель; стоматология; имплантат; ROC-анализ; бинарная логистическая регрессия

## MATHEMATICAL MODEL FOR FORECASTING THE RESULTS OF OPERATIVE DENTAL INTERVENTION

**O. V. VYSOTSKA, R. O. SABLIN, H. M. STRASHNENKO**

Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** In modern dental practice, the problem of predicting the results of operative interventions is an extremely important question. This will facilitate the task of making a decision by the dentist in each individual case. Also often discussed is the question of the list of indications and contraindications for individual prosthetics. The purpose of the study is to develop a mathematical model for predicting the outcome of operative dental intervention in patients using binary logistic regression Methods of solution. To synthesize a mathematical model for predicting the outcome of operative dental intervention in patients, a binary logistic regression was used, which allows one to accurately determine the factors that have a significant impact on the resultant indicator, as well as to determine the strength and direction of this influence. For this analysis the computer program for statistical data processing SPSS 19.0 is used. As a result of experimental studies, a mathematical model for predicting the outcome of operative dental intervention has been developed, which allows predicting the result of dental implantation. The assessment of the quality of the model obtained, using the selected criteria for evaluating binary logistic regression, showed good results. The obtained value of the area under the ROC-curve allows evaluating the diagnostic value of the model was 0.996, which indicates the excellent quality of the model. The results of the study represent in the paper the effectiveness of using binary logistic regression to predict operative dental intervention. By processing the influencing factors, it is possible to predict the success or failure of an operation. This opportunity will allow the dentist to choose the optimal implant loading time and the correct orthopedic construction. The using the mathematical model in medical practice will allow the quality of providing dental care for patients. The obtained results are an important theoretical basis for the development of an information system to automate the process of predicting the outcome of surgical dental intervention.

**Keywords:** mathematical model; dental; implant; ROC-analysis; binary logistic regression

### Введение

Одним из современных оперативных вмешательств в стоматологии является дентальная имплантация. Дентальная имплантация, как метод вживления в челюстную кость искусственного корня

зуба (имплантата), продолжает активно внедряться в практику стоматологов-ортопедов. В настоящее время существует ряд нерешенных вопросов, связанных с отторжением имплантатов. Число подобных осложнений, по мнению различных авторов, варьирует в пределах от 3 до 10% [1]. Основным из них можно

считать возможность прогнозирования результата дентальной имплантации. Поэтому на этапе планирования операции и корректировки плана лечения во время операции, прогнозирование результата оперативного стоматологического вмешательства является актуальным вопросом. Это позволит врачу понимать процент успешного результата имплантологической реабилитации у каждого пациента индивидуально. Немаловажным является автоматизация процесса прогнозирования результата оперативного стоматологического вмешательства.

Таким образом, разработка и применение современных информационных технологий в ортопедическом протезировании для получения за достаточно короткий срок точных количественных оценок, которые необходимы для специалиста при прогнозировании и выборе адекватной лечебной тактики, исключительно важны.

Для прогнозирования процессов применяется множество различных математических методов, которые делятся на две основные группы: формализованные и интуитивные. Формализованные методы основываются на математических моделях, а интуитивные основываются на суждениях. Интуитивные методы используют в качестве источника информации субъективные оценки, высказанные экспертами. К недостаткам интуитивных методов можно отнести трудоемкость получения большого количества оценок и корректной их обработки. Также достаточно сложно согласовать мнения экспертов, которые принадлежат к различным научным школам и направлениям.

Формализованные методы, в основе которых лежит разработка математических моделей, делятся на модели предметной области и модели временных рядов. Модели предметной области – такие математические модели прогнозирования, для построения которых используют законы предметной области. В таких моделях используются зависимости, свойственные конкретной предметной области. Такого рода моделям присущи индивидуальный подход к разработке нового математического аппарата и детальный учет всех значимых параметров системы и среды ее функционирования, что является достаточно сложной задачей.

Отдельно стоит рассмотреть модели временных рядов. Они универсальны для различных предметных областей. У временных рядов есть особенность, которая заключается в том, что у них достаточно высокая прогностическая способность при исследовании сезонных явлений.

Далее рассмотрим такие модели прогнозирования как статистические и структурные. Статистические модели описывают состояние объекта в определённый момент времени. Статистические модели: линейная регрессия, логистическая регрессия, регрессия Кокса и др. Структурные модели служат для изучения внутреннего состояния объекта.

К структурным моделям относятся: нейронные сети, цепи Маркова, классификационные деревья и др.

В работе [2] для прогнозирования результата дентальной операции использовался алгоритм C5.0 классификационных деревьев. Для анализа факторов, которые критически влияют на имплантацию, было проведено ретроспективное исследование. В исследовании установлено, что плотность кости является самым влияющим фактором на имплантацию (0.55), за которым следует форма и объем кости (0.23), угол абатмента (0.17), диализ (0.034), длина имплантата (0.011), немедленная установка имплантата (0.004). Однако, алгоритм C5.0 классификационных деревьев чувствителен к обучающей выборке, небольшие изменения сильно влияют на результат прогнозирования. Деревья получаются очень большими, что затрудняет их интуитивное понимание. Также в определении вероятности могут быть ошибки, которые существенно исказят результаты анализа.

В публикации [3] сравнивали такие модели – алгоритм классификационных деревьев C4.5, логистическая регрессия, метод опорных векторов с целью создания модели для прогноза проведения операции имплантации, чтобы снизить вероятность отторжения имплантата. В исследовании выделено десять клинико-диагностических факторов, из которых пять существенно влияют на прогнозирование проведения операции имплантации, а именно – ширина имплантата, имплантат (производитель имплантата), употребление в пищу орехов бетеля, наращивание гребня, длина имплантата. Однако, результаты исследования показали, что алгоритм классификационных деревьев C4.5 с использованием алгоритмов Bagging и Adaboost обладает недостаточной точностью прогноза исхода имплантации (70.2% и 67.1% соответственно). Среди недостатков метода опорных векторов выделяют чувствительность к стандартизации данных и шумам.

В исследовании [4] для прогнозирования успеха приживаемости зубных имплантатов разработана модель с использованием алгоритма C4.5 классификационных деревьев, нейронных сетей, метода опорных векторов, наивного байесовского классификатора, метода ближайших соседей. Авторами проведено так называемое «стекирование», когда все модели стыкуются по цепочке друг с другом. Таким образом, сглаживаются ошибки, допущенные в моделях. Однако, основным недостатком предложенной модели является необходимость иметь довольно большой объем обучающих данных. Также использование данной модели в повседневной практике врача достаточно сложно из-за трудоемкости процесса.

В работе [5] была предложена модель пропорциональных рисков (регрессия Кокса) для прогнозирования состояния имплантата спустя 1 и 5 лет. Авторы выделили три важных фактора: курение, время

установки имплантата и проведение имплантации (в один и в два этапа). Кто не курил и прошел двух этапную установку имплантата на 1 и 5 лет в результате 97.2% и 93.4% был выше по сравнению с теми, кто прошёл немедленную имплантацию и курил – на 1 и 5 лет 58.5% и 27.6% соответственно. Однако, при прогнозировании успешности проведения дентальной имплантации важно учитывать показатель стабильности имплантата ISQ [6–8], который позволяет объективно оценить уровень первичной стабилизации имплантата, провести контроль над динамикой остеоинтеграции имплантата и определить оптимальные сроки нагрузки имплантата на этапе проведения операции.

Используя регрессионные модели для прогнозирования процессов, можно достаточно точно выявить факторы, оказывающие существенное влияние на результирующий показатель, а также определить силу и направление этого влияния. Линейная регрессионная модель не всегда способна качественно предсказывать значения зависимой переменной. Она может дать результаты, несовместимые с реальностью. С целью решения данных проблем полезно изменить вид уравнения регрессии и подстроить его для решения конкретной задачи. Логистическая регрессия имеет большое значение и практическое применение в разных областях. Модель прогнозирует вероятность некоторого события, находящегося в пределах от 0 до 1. Уравнение логистической регрессии составляется на основе тех объектов, о которых известна групповая принадлежность, что позволяет максимально точно подобрать его коэффициенты. После того как уравнение регрессии получено, его можно использовать для группировки интересующих объектов в целях прогнозирования.

На основании всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что синтез новой математической модели прогнозирования результата дентальной имплантации с помощью бинарной логистической регрессии является актуальной научной и практической задачей.

### Цель работы

Целью исследования является разработка математической модели прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства у пациентов с использованием бинарной логистической регрессии.

### Изложение основного материала

В исследовании принимали участие пациенты, которым была проведена операция вживления искусственного корня зуба в верхнюю или нижнюю челюсть. Все пациенты были разделены на две группы: с положительным и отрицательным результатами проведённой дентальной имплантации. При определении клинико-диагностических факторов, которые влияют на результат проведения

дентальной имплантации у пациентов, использовали следующие признаки: данные анамнеза, лабораторных, клинических и биохимических исследований, результаты рентгенологических и функциональных исследований.

Для синтеза математической модели прогноза результата дентальной имплантации у пациентов применялась бинарная логистическая регрессия [9], которая позволяет достаточно точно выявить признаки, которые оказывают существенное влияние на исход проведения операции. Для проведения данного анализа использовали компьютерную программу SPSS 19.0 [10].

С помощью метода бинарной логистической регрессии была получена следующая математическая модель для прогнозирования результата дентальной имплантации у пациентов:

$$\hat{p} = [1 + \exp(4.285 * X_1 - 37,431 * X_2 + 4,076 * X_3 + 0,333 * X_4 + 48,132)]^{-1},$$

где  $X_1$  – показатель стабильности имплантата ISQ (1 – коэффициент стабильности составляет 70 единиц и выше; 2 – коэффициент стабильности составляет от 60 до 70 единиц; 3 – коэффициент стабильности 60 единиц и ниже);

$X_2$  – уровень кальция в крови;

$X_3$  – степень кровоснабжения (1 – обильное, 2 – умеренное, 3 – недостаточное);

$X_4$  – возраст пациента.

Значение  $\hat{p}$  лежит в пределах от 0 до 1 и отображает вероятность отрицательного результата дентальной имплантации у пациентов. Чем ближе к 1, тем выше вероятность не успешности проведения дентальной операции. Когда значение  $\hat{p}$  находится в диапазоне от 0 до 0,5, из этого следует вывод, что у пациента результат успешен.

Коэффициенты подобранной модели бинарной логистической регрессии представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты модели бинарной логистической регрессии, созданной для прогнозирования результата дентальной имплантации у пациентов

Показатель, $X_i$	Коэффициенты	Стандартные ошибки	Критерий Вальда	Значимость ( $p_i$ )
$X_1$	4,285	1,706	6,309	0,012
$X_2$	-37,431	15,691	5,690	0,017
$X_3$	4,076	1,832	4,953	0,026
$X_4$	0,333	0,163	4,171	0,041
Константа	48,132	24,489	3,863	0,049

Проверка значимости подобранных коэффициентов в модели проводилась с помощью статистики Вальда. Все переменные значимые ( $p < 0,05$ ) и подобраны правильно (табл. 1).

Общая оценка согласия между влиянием выявленных факторов прогнозирования результата дентальной имплантации у пациентов и реально зафиксированным наступлением неблагоприятного исхода проводилась с использованием теста согласия Хосмера-Лемешова, результаты представлены в табл. 2. Полученное значение  $H_L = 1,634$ , при уровне значимости  $p > 0,05$  ( $p = 0,990$ ), свидетельствуют о высоком качестве подобранной модели.

Таблица 2 – Критерий Хосмера–Лемешова

$H_L$	Степень свободы	Значимость ( $p$ )
1,634	8	0,990

Качество приближения регрессионной модели оценивали с помощью функции схождения (табл. 3). В исследовании,  $G = 13,221$  при  $p = 0,001$ , что указывает на то, что в целом независимые переменные имеют значительный вклад в прогнозировании зависимой переменной.

Показатель Нейджелкерка является мерой определённости и показывает долю влияния всех факторных признаков на дисперсию зависимой переменной, который варьируется от 0 до 1, чем ближе коэффициенты к единице, тем лучше. Согласно значению рассчитанного показателя  $R^2$  Нейджелкерка, часть дисперсии, объясненной с помощью полученной логистической функции, составляет 90,6%.

Таблица 3 – Характеристики модели бинарной логистической регрессии, созданной для прогнозирования результата дентальной имплантации у пациентов

Результаты заключительного шага анализа	-2 Log правдоподобие ( $G$ )	$R^2$ Нейджелкерка	$\chi^2$	Значимость ( $p$ )
	13,221	0,906	89,515	0,001

Далее представлены результаты классификации (табл. 4), в которой реально наблюдаемые показатели принадлежности к той или иной из двух исследуемых групп сопоставляются с предсказанными на основе синтезированной логистической регрессионной модели.

Таблица 4 – Классификационные результаты

Реальные группы		Прогнозируемые группы		
		Результат		% верно спрогнозированный
		Положительный	Отрицательный	
Результат	положительный	137	1	99,3
	отрицательный	2	14	87,5
Общий процент				98,1

Классификационная табл. 4 позволяет судить о количестве правильных и неправильных прогнозов. Из таблицы можно сделать вывод о том, что из общего числа положительных результатов лечения (138 установленных имплантатов), тестом были признаны верно 137 и 1 ошибочно отнесен к группе с отрицательным результатом. Из общего числа отрицательных результатов лечения (16 имплантатов), тестом были признаны 14 и 2 ошибочно отнесены к группе с положительным результатом. В общем, правильно был распознан 151 случай из 154, это составляет 98,1%.

### Обсуждение результатов

Для исследования качества синтезированной математической модели проводился ROC-анализ [11] (receiver operating characteristic, анализ операционной характеристической кривой), который выявил её характеристики. Интегральная оценка эффективности выведенного прогностического правила, основанная на соотношении чувствительности и специфичности теста, представлена на рис. 1. На рис. 1 зеленая диагональная линия соответствует «бесполезному» классификатору, то есть полной неразличимости двух групп; синяя кривая является ROC-кривой.

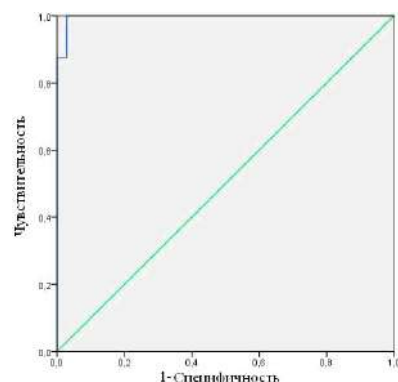


Рис. 1 – ROC-Кривая

Представленное в табл. 5 значение площади под ROC-кривой, позволяющее оценить диагностическую ценность модели, составило 0,996 [0,990; 1,00], что говорит об отличном качестве модели. Считают, что значение площади от 0,9 до 1 соответствует отличному качеству модели, от 0,8-0,9 – очень хорошему, 0,7-0,8 – хорошему, 0,6-0,7 – среднему, 0,5-0,6 – неудовлетворительному.

Таблица 5 – Результаты ROC-анализа

Характеристики ROC Кривой			95% Доверительный интервал	
Площадь	Стандартная ошибка	Значимость ( $p$ )	Нижняя граница	Верхняя граница
0,996	0,003	0,001	0,990	1,000

Представленные в работе результаты исследования говорят об эффективности применения бинарной логистической регрессии для прогнозирования дентальной имплантации. Путём обработки влияющих критериев можно спрогнозировать успех или неудачу операции. Речь идёт о повышении качества проводимой дентальной операции. Эта возможность даст стоматологу выбрать оптимальный срок нагрузки имплантата и правильную ортопедическую конструкцию в каждом конкретном случае.

### Выводы

Прогноз проведения операции является важным аспектом в стоматологической практике, что позволит облегчить задачу принятия решения стоматологом в каждом индивидуальном случае.

Разработанная математическая модель прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства позволяет предсказать результат дентальной имплантации. Оценка качества полученной модели, при помощи выбранных критериев оценки бинарной логистической регрессии, показала высокие результаты.

В дальнейшем на основе разработанной математической модели планируется разработать информационную систему для автоматизации процесса прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства.

### Список литературы

1. Походенько-Чудакова, И. О. Обоснование исследования по разработке системы прогнозирования исходов дентальной имплантации. Аналитический обзор литературы / И. О. Походенько-Чудакова, Ю. В. Карасюк // *Вестник витебского государственного медицинского университета*. – 2014. – Т. 13. – № 1. – С. 6-12.
2. Chiang, H.-J. A retrospective analysis of prognostic indicators in dental implant therapy using the C5.0 decision tree algorithm / H.-J. Chiang, C.-C. Tseng, C.-C. Torng // *Dental Sciences*. – 2013. – Vol. 8. – № 3. – P. 248-255. – doi: 10.1016/j.jds.2013.04.009.
3. Liu, C.-H. Predicting the Failure of Dental Implants Using Supervised Learning Techniques / C.-H. Liu, C.-J. Lin, Y.-H. Hu, Z.-H. You // *Applied Sciences*. – 2018. – 8 (5). – 698. – doi: 10.3390/app8050698.
4. Moayeri, R. S. A hybrid method to predict success of dental implants / R.S. Moayeri, M. Khalili, M. Nazari // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2016. – Vol. 7. – No. 5. – doi: 10.14569/IJACSA.2016.070501.
5. Chuang, S.-K. Predicting clustered dental implant survival using frailty methods / S.-K. Chuang, T. Cai // *Journal of dental research*. – 2006. – 85(12). – P. 1147-1151. – doi: 10.1177/154405910608501216.
6. Rodrigo, D. Diagnosis of implant stability and its impact on implant survival: a prospective case series study / D. Rodrigo, L. Aracil, C. Martin, M. Sanz // *Clin. Oral Impl.*

- Res* Vol. 21. – 2010. – P. 255-261. – doi:10.1111/j.1600-0501.2009.01820.x.
7. Baltayan, S. The predictive value of resonance frequency analysis measurements in the surgical placement and loading of endosseous implants / S. Baltayan, J. Pi-Anfruns, T. Aghaloo, P.K. Moy // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2012. – 74(6). – P. 1145-1152 – doi: 10.1016/j.joms.2016.01.048.
8. Ерошин, В. А. Коэффициенты продольной стабильности дентальных имплантатов / В. А. Ерошин, М. В. Джалалова, А. В. Бойко [и др.] // *Российский журнал биомеханики*. – 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 236-248.
9. Краснов, О. А. Результаты оценки функционального резерва печени в резекционной хирургии органа / О. А. Краснов, В. В. Павленко, К. А. Краснов [и др.] // *Медицина и образование в Сибири*. – 2015. – № 3. – 74 с.
10. Ковалева, Г. Д. Анализ социологических данных с применением статистического пакета SPSS: Учебно-методическое пособие / Г. Д. Ковалева, П. С. Ростовцев. – Новосибирск: НГУ. – 2002. – 160 с.
11. Королук, И. П. Медицинская информатика: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: ООО «Офорт»: ГБОУ ВПО «СамГМУ». – 2012. – 244 с.

### References (transliterated)

1. Pohoden'ko-Chudakova, I. O., Karasjuk, Ju. V. Obosnovanie issledovaniya po razrabotke sistemy prognozirovaniya ishodov dental'noj implantacii. Analiticheskij obzor literatury. *Vestnik vitebskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*, 2014, **13**, 1, 6-12.
2. Chiang, H.-J. Tseng C.-C., Torng C.-C. A retrospective analysis of prognostic indicators in dental implant therapy using the C5.0 decision tree algorithm. *Dental Sciences*, 2013, **8**, 3, 248-255, doi: 10.1016/j.jds.2013.04.009.
3. Liu, C.-H., Lin, C.-J., Hu, Y.-H., You, Z.-H. Predicting the Failure of Dental Implants Using Supervised Learning Techniques. *Applied Sciences*, 2018, **8** (5), 698, doi: 10.3390/app8050698.
4. Moayeri, R. S., Khalili, M., Nazari, M. A hybrid method to predict success of dental implants. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2016, **7**, 5, doi: 10.14569/IJACSA.2016.070501.
5. Chuang, S.-K., Cai, T. Predicting clustered dental implant survival using frailty methods. *Journal of dental research*, 2006, **85** (12), 1147-1151, doi:10.1177/154405910608501216.
6. Rodrigo, D., Aracil, L., Martin, C., Sanz, M. Diagnosis of implant stability and its impact on implant survival: a prospective case series study. *Clin. Oral Impl. Res.*, 2012, **21**, 255-261, doi:10.1111/j.1600-0501.2009.01820.x.
7. Baltayan, S., Pi-Anfruns, J., Aghaloo, T., Moy, P. K. The predictive value of resonance frequency analysis measurements in the surgical placement and loading of endosseous implants. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2012, **74**(6), 1145-1152, doi:10.1016/j.joms.2016.01.048.
8. Eroshin, V. A., Dzhahalova, M. V., Bojko, A. V. Arutjunov, S. D., Stepanov, A. G. Koefitsienty prodol'noj stabil'nosti dental'nyh implantatov. *Rossiiskij zhurnal biomehaniki*, 2016, **20**, 3, 236-248.
9. Krasnov, O. A., Pavlenko, V. V., Krasnov, K. A., Krasnov, A. O. Rezul'taty ocenki funktsional'nogo rezerva

- pecheni v rezekcionnoj hirurgii organa. *Medicina i obrazovanie v Sibiri*, 2015, **3**, 74.
10. **Kovaleva, G. D., Rostovcev, P. S.** Analiz sociologicheskikh dannyh s primeneniem statisticheskogo paketa SPSS: Uchebno-metodicheskoe posobie. Novosibirsk: NGU, 2002, 160.
11. **Koroljuk, I. P.** Medicinskaja informatika: uchebnik. – 2-e izd., pererab. i dop. Samara: OOO «Ofort»: GBOU VPO «SamGMU», 2012, 244.

### Сведения об авторах (About authors)

**Высоцкая Елена Владимировна** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков; Украина; e-mail: [evisotska@ukr.net](mailto:evisotska@ukr.net).

**Olena Vysotska** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Information Control Systems Department, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [evisotska@ukr.net](mailto:evisotska@ukr.net).

**Саблин Руслан Олегович** – студент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина; e-mail: [ruslan.sablin@nure.ua](mailto:ruslan.sablin@nure.ua).

**Ruslan Sablin** – Student, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv; Ukraine; e-mail: [ruslan.sablin@nure.ua](mailto:ruslan.sablin@nure.ua).

**Страшненко Анна Николаевна** – кандидат технических наук, научный сотрудник, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, кафедра биомедицинской инженерии, г. Харьков; Украина; ORCID: 0000-0001-5962-0413; e-mail: [hanna.strashneko@nure.ua](mailto:hanna.strashneko@nure.ua).

**Hanna Strashnenko** – Ph. D., Scientific Employee, Kharkiv National University of Radio Electronics, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5962-0413; e-mail: [hanna.strashneko@nure.ua](mailto:hanna.strashneko@nure.ua).

*Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

**Высоцкая, Е. В.** Математическая модель прогнозирования исхода оперативного стоматологического вмешательства / **Е. В. Высоцкая, Р. О. Саблин, А. Н. Страшненко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 87-92. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.11.

*Please cite this article as:*

**Vysotska, O. V., Sablin, R. O., Strashnenko, H. M.** Mathematical model for forecasting the results of operative dental intervention. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **45** (1321), 87–92, doi:10.20998/2413-4295.2018.45.11.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Висоцька, О. В.** Математична модель прогнозування результату оперативного стоматологічного втручання / **О. В. Висоцька, Р. О. Саблін, Г. М. Страшненко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 87-92. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.11.

**АНОТАЦІЯ** У сучасній стоматологічній практиці проблема прогнозування результату проведення оперативного втручання є вкрай важливою задачею, її вирішення дозволить полегшити прийняття рішення стоматологом у кожному індивідуальному випадку. Також питання про перелік показань та протипоказань до проведення індивідуального протезування часто обговорюється і залишається відкритим. Метою дослідження є розробка математичної моделі прогнозування результату оперативного стоматологічного втручання у пацієнтів з використанням бінарної логістичної регресії. Для синтезу математичної моделі прогнозу результату оперативного стоматологічного втручання у пацієнтів застосовувалася бінарна логістична регресія, яка дозволяє досить точно виявити фактори, що істотно впливають на результуючий показник, а також визначити силу та напрям цього впливу. Для проведення даного аналізу використовували комп'ютерну програму для статистичної обробки даних SPSS 19.0. У результаті проведених експериментальних досліджень розроблена математична модель прогнозування результату оперативного стоматологічного втручання, яка дозволяє передбачити результат дентальної імплантації. Оцінка якості отриманої моделі, за допомогою обраних критеріїв оцінки бінарної логістичної регресії, показала високі результати. Отримане значення площі під ROC-кривою, яка дозволяє оцінити діагностичну цінність моделі, склало 0,996, що говорить про відмінну якість моделі. Представлені в роботі результати дослідження говорять про ефективність застосування бінарної логістичної регресії для прогнозування дентальної імплантації. Шляхом обробки впливають критеріїв можна спрогнозувати успіх чи невдачу операції. Ця можливість дасть стоматологу обрати оптимальний термін навантаження імплантату та правильну ортопедичну конструкцію. Використання даної математичної моделі в медичній практиці дозволить підвищити якість надання стоматологічної допомоги пацієнтам. Отримані результати становлять важливу теоретичну основу для розробки інформаційної системи з метою автоматизації процесу прогнозування результату оперативного стоматологічного втручання.

**Ключові слова:** математична модель; стоматологія; імплантат; ROC-аналіз; бінарна логістична регресія

*Поступила (received) 04.12.2018*